

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Факультет компьютерных систем и информационных технологий

Кафедра прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета компьютерных
систем и информационных технологий
Кочевский А.А.



19 » апреля 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Численное моделирование в аэрогидромеханике»

По направлению подготовки 01.03.03 Механика и математическое
моделирование

Профиль: «Механика деформируемых тел и сред»

Луганск – 2023 г.

Лист согласования РПУД

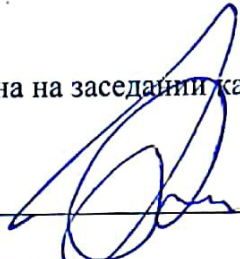
Рабочая программа учебной дисциплины «Численное моделирование в аэрогидромеханике» по направлению подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование. — с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Численное моделирование в аэрогидромеханике» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от «10» января 2018 года № 10.

СОСТАВИТЕЛЬ:

докт. техн. наук, профессор Сёмин Д. А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры прикладной математики «18» апреля 2023 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой прикладной математики  В.В.Малый

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № _____

Переутверждена: «__» _____ 20__ года, протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий «19» апреля 2023 г., протокол № 8.

Председатель учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий  Н.Н. Ветрова.

© Сёмин Д.А., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – овладение методологией и приобретение практических навыков численного решения учебных, прикладных и научных задач аэрогидромеханики реальных (вязких) сред.

Задачи: постановка гидродинамической задачи (выбор уравнения динамики, модели турбулентности, постановка граничных и начальных условий) и ее решение в одном из современных пакетов компьютерной гидродинамики, анализ полученного решения.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО.

Дисциплина «Численное моделирование в аэрогидромеханике» входит в вариативную часть профессионального цикла дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование»

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются:

знания дифференциального и интегрального исчисления, векторной алгебры и теории поля, основных теорем и законов теории вероятностей;

умения применять законы теории для решения практических задач;

навыки постановки и решения задач разделов курса «математика».

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: «Математика», «Физика», теоретическим фундаментом лабораторного практикума по обязательным дисциплинам профессионального цикла направления подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» по профилю подготовки «Механика деформируемых тел и сред», выполнения квалификационной бакалаврской выпускной работы.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Способен выполнять научно-исследовательские работы в соответствии с техническим заданием в составе научного коллектива по отдельным разделам темы	ПК-1.1. Знать стандартные алгоритмы для решения поставленных задач.	Знать: основные законы и уравнения механики жидких и газообразных сред, методологию их применения и методы численного решения;
	ПК - 1.2. Уметь анализировать результаты решенных задач, на основе анализа полученных результатов и производить модификацию этапов и методов решения	Уметь: произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения;

	ПК - 1.3. Владеть стандартными алгоритмами для решения поставленных задач.	Владеть: навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Знать методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности поставленных задач	Знать: основные законы и уравнения механики жидких и газообразных сред, методологию их применения и методы численного решения; Уметь: произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения. Владеть: навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.
	УК-1.2. Уметь применять методы системного подхода для решения	Уметь: произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения;
	УК-1.3. Владеть поиском, выбором, систематизацией, обобщением и критическим анализом информации	Владеть: навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	180 (5 зач. ед)	180 (5 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	98	50
Лекции	56	30
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	42	20
Лабораторные работы	-	-
Расчетно-графическая работа	36	9
Другие формы и методы организации образовательного процесса	-	-

Самостоятельная работа студента (всего)	46	121
Итоговая аттестация	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.

Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса. Дополнительные касательные и нормальные напряжения. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

Дискретизация дифференциальных уравнений движения. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА). Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема). Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ).

Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD. Программные комплексы «OpenFoam», «FlowVision», «ANSYS/CFX». Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма

1	<i>Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.</i> <i>Тема 1. Введение. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.</i>	2	1
2	<i>Тема 2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.</i>	2	1
3	<i>Тема 3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения..</i>	4	1
4	<i>Тема 4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.</i>	4	1
5	<i>Тема 5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.</i>	4	1
6	<i>Тема 6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения..</i>	2	1
7	<i>Тема 7. Гипотезы турбулентности.</i>	4	1
8	<i>Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.</i> <i>Тема 8. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.</i>	2	1
9	<i>Тема 9. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА).</i>	2	1
10	<i>Тема 10. Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).</i>	4	1
11	<i>Тема 11. Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ).</i>	2	1
12	<i>Тема 12. Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока</i>	2	1
13	<i>Тема 13. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.</i>	2	1
14	<i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i>	8	3

	<i>Тема 14.</i> Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Программный комплекс «OpenFoam». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.		
15	<i>Тема 15.</i> Программный комплекс «FlowVision».	6	2
16	<i>Тема 16.</i> Программный комплекс «ANSYS/CFX».	6	2
Итого:		56	20

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Системы координат для записи уравнений гидромеханики. Картезианская система. Пространственные системы координат (линейная ортогональная, нелинейная ортогональная - цилиндрическая и сферическая, произвольная) и связь между ними.	4	1
2	Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости в линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.	4	2
3	Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.	4	2
4	Дифференциальные модели турбулентности «k-ε», «k-ω», SST. Константы моделей.	4	2
5	Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).	4	2
6	Решение задач на определение устойчивости, сходимости, точности, погрешности, Учет схемной вязкости. Условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.	4	2

7	Уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.	2	2
8	Расчет давления и начальные условия. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.	4	2
9	<i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i> <i>Тема 14.</i> Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «OpenFoam». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.	4	1
10	<i>Тема 15.</i> Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision».	4	2
11	<i>Тема 16.</i> Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «ANSYS/CFX».	4	2
Итого:		42	20

4.5. Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6-й			
1	<i>Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.</i> Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости. Уравнения осредненного	Поиск, анализ, структурирование и изучение информации по темам. Работа с конспектом лекций. Подготовка к практическим занятиям, выполнение курсовой работы Подготовка к защите курсовой работы и к экзамену.	10	55

	турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса. Дополнительные касательные и нормальные напряжения. Гипотезы турбулентности.			
2	<i>Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.</i> Дискретизация дифференциальных уравнений движения. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА). Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема). Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ). Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.		10	55
3	<i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i>		26	54

	Программные комплексы «OpenFoam», «FlowVision», «ANSYS/CFX». Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения. Решение гидродинамической задачи расчетно-графической работы в программном комплексе «OpenFoam»,			
				36
Итого:			97 46	200 121

4.7. Курсовые проекты. Учебным планом не предусмотрены.

5. Образовательные технологии.

Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «Численное моделирование в аэрогидромеханике» используются следующие образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии.
2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии.
3. Личностно ориентированные технологии обучения.

Форма организации обучения Методы	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа студента
Работа в команде		+	
Игра	+	+	
Методы проблемного обучения	+		+
Обучение на основе опыта	+	+	
Опережающая самостоятельная работа	+	+	+
Поисковый метод			+

6. Формы контроля освоения дисциплины

По данному курсу предусматриваются следующие формы контроля знаний:

- текущий контроль (самоконтроль);
- промежуточный контроль;
- итоговый контроль.

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущими практические занятия по дисциплине, в следующих формах:

Комбинированный контроль (устный или письменный) усвоения теоретического материала и содержания практических занятий.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы контроля, позволяющие оценить результаты обучающихся по данной дисциплине, помещаются в УМКД.

Итоговый контроль по результатам освоения дисциплины проходит в форме экзамена. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25% на «хорошо», имеют право на получение итоговой оценки.

В зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Национальная шкала	Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.	

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А.Е. Зарянкин - М. : Издательский дом МЭИ, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009031.html>
2. Численное моделирование задач динамики и прочности деталей газотурбинных установок и двигателей [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.Е. Васильев - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703849545.html>
3. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики [Электронный ресурс] / Башкин В.А., Егоров И.В - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115247.html>
4. Основы работы в ANSYS 17 [Электронный ресурс] / Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. - М. : ДМК Пресс, 2017. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970604250.html>

б) дополнительная литература:

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2 т. Т. 1 / Д. Андерсон, Таннехилл Дж., Р. Плетчер; пер. с англ.: С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 384 с.
2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2 т. Т. 2 / Д. Андерсон, Таннехилл Дж., Р. Плетчер; пер. с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 392 с.
3. Башкин В.А., Численное моделирование динамики вязкого совершенного газа / Башкин В.А., Егоров И.В. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 372 с. - ISBN 978-5-9221-1265-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112659.html>
4. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства [Электронный ресурс] Учебное пособие./ А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева - М. : Издательство АСВ, 2017. - 720 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432302175.html>
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Изд-во Дрофа, 2003.- 846с.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч; пер. с англ. В. А. Гущина, В. Я. Митницкого ; под ред. П. И. Чушкина. - М. : Мир, 1980. - 616 с.

в) методические указания

1. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Математические модели в механике сплошной среды» для студентов по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 16 с.
2. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Математические модели в механике сплошной среды» для студентов по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 32 с.
2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Математические модели в механике сплошной среды» для студентов по направлению

подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 32 с.

г) интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются презентационная техника (проектор, экран, ноутбук), наборы слайдов (либо раздаточный материал в бумажном виде) или кинофильмов; демонстрационные приборы и лабораторные стенды кафедры «Гидрогазодинамика».

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	FirefoxMozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx

Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	MozillaThunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	FarManager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

Паспорт
фонда оценочных средств по учебной дисциплине
«Численное моделирование в аэрогидромеханике»

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Пороговый	Знать: математические модели для описания механических свойств материалов и сред.
Основной		Базовый	Уметь: произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения
Заключительный		Высокий	Владеть: навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента

Начальный	ПК-1. Способен выполнять научно-исследовательские работы в соответствии с техническим заданием в составе научного коллектива по отдельным разделам темы	Пороговый	Знать: математические модели для описания механических свойств материалов и сред.
Основной		Базовый	Уметь: произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения
Заключительный		Высокий	Владеть: навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п / п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.	7
			Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.	7
			Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.	7
2	ПК-1	Способен выполнять научно-исследовательские работы в соответствии с техническим заданием в составе научного коллектива по отдельным разделам темы	Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.	7
			Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.	7
			Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.	7

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Показатель оценивания (знания, умения, навыки)	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1	УК-1	<i>знать</i> основные законы и уравнения механики жидких и газообразных сред, методологию их применения и методы численного решения; <i>уметь</i> произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения; <i>владеть навыками</i> работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.	Раздел 1, Раздел 2, Раздел 3.	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания по практическим занятиям, зачет
2	ПК-1	<i>знать</i> основные законы и уравнения механики жидких и газообразных сред, методологию их применения и методы численного решения; <i>уметь</i> произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения; <i>владеть навыками</i> работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.	Раздел 1, Раздел 2, Раздел 3.	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания по практическим занятиям, зачет

Фонды оценочных средств по дисциплине
«Численное моделирование в аэрогидромеханике»

Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала (устно или письменно):

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

1. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.
2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.
3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения.
4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.
5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.
6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения.

7. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

1. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.
2. Расчетные сетки. Шаблоны.
3. Конечно-разностные аналоги - (КРА).
4. Методы дискретизации:
5. метод конечных разностей,
6. полиномиальная аппроксимация,
7. интегральный метод,
8. метод конечных элементов,
9. метод контрольного объема.
10. Основные понятия вычислительного процесса:
11. устойчивость,
12. сходимость,
13. точность,
14. погрешность,
15. схемная вязкость,
16. условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
17. Методы решения уравнения переноса вихря.
18. Методы решения уравнений для функции тока.
19. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
20. Начальные условия и расчет давления.
21. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.

1. Программные комплексы. Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор):
2. «OpenFoam»,
3. «FlowVision»,
4. «ANSYS/CFX».
5. Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «OpenFoam».
6. Построение расчетной области.
7. Выбор и построение расчетной сетки.
8. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий.
9. Анализ решения.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –

комбинированный контроль усвоения теоретического материала

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
4	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
3	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
2	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Задания по практическим занятиям:

№ п/п	Название темы
1,2	Системы координат для записи уравнений гидромеханики. Картезианская система. Пространственные системы координат (линейная ортогональная, нелинейная ортогональная - цилиндрическая и сферическая, произвольная) и связь между ними.
3,4	Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости в линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.
5,6	Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.
7,8	Дифференциальные модели турбулентности «k-ε», «k-ω», SST. Константы моделей.
9-11	Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).
12	Решение задач на определение устойчивости, сходимости, точности, погрешности, Учет схемной вязкости. Условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
13	Уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
14	Расчет давления и начальные условия. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.
15	<i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i>

	Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «OpenFoam». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.
16	Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision».
17	Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «ANSYS/CFX».

**Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –
комбинированный контроль усвоения теоретического материала**

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
4	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
3	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
2	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Тема и задание курсовой работы: Учебным планом предусмотрена.

Вопросы к экзамену:

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

1. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.
2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.
3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения.
4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.
5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.
6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения.
7. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

8. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.

9. Расчетные сетки. Шаблоны.
10. Конечно-разностные аналоги - (КРА).
11. Методы дискретизации:
12. метод конечных разностей,
13. полиномиальная аппроксимация,
14. интегральный метод,
15. метод конечных элементов,
16. метод контрольного объема.
17. Основные понятия вычислительного процесса:
18. устойчивость,
19. сходимость,
20. точность,
21. погрешность,
22. схемная вязкость,
23. условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
24. Методы решения уравнения переноса вихря.
25. Методы решения уравнений для функции тока.
26. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
27. Начальные условия и расчет давления.
28. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.

29. Программные комплексы. Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор):
30. «OpenFoam»,
31. «FlowVision»,
32. «ANSYS/CFX».
33. Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision». Построение расчетной области.
34. Выбор и построение расчетной сетки.
35. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий.
36. Анализ решения.

Билет № N

I. Теоретический вопрос .

Вопрос из первого раздела

II. Теоретический вопрос .

Вопрос из второго раздела

III. Практический вопрос .

Вопрос из третьего раздела

Утверждено на заседании кафедры ГГД, протокол №__ от ____ 201__ г.

Заведующий кафедрой

доц. Мальцев Я.И.

Лектор

проф. Сёмин Д.А.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Форма листа изменений и дополнений, внесенных в ФОС

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)